

VARIABLE WAVELENGTH LIGHT SOURCE

Patent Number: EP1321794
 Publication date: 2003-06-25
 Inventor(s): TAKIGUCHI YOSHIHIRO (JP); ITOH KENSAKU (JP); YAMANAKA JUNPEI (JP)
 Applicant(s): HAMAMATSU PHOTONICS KK (JP)
 Requested Patent: JP2002098917
 Application Number: EP20010970225 20010926
 Priority Number(s): WO2001JP08383 20010926; JP20000292709 20000926
 IPC Classification: G02B26/00; H01S3/10; H01S3/106; H01S5/14
 EC Classification: G02B6/122P; G02B6/42C3B; H01S3/106; H01S5/14B
 Equivalents: AU9027801, US2004057472, WO0227383
 Cited Documents: WO9859219; US6058127; US6064506

Abstract

If an external force is exerted on a plastic photonic crystal by a piezoelectric device (3), the photonic crystal (2) deforms and the photonic band gap easily varies. As the photonic band gap varies, the passage of light of specific wavelength is limited. As a result, light of desired wavelength is sufficiently varied and outputted from the photonic crystal (2), and the light is taken out from an output window (6) to the outside. The scale of the variable wavelength light source is small since a plastic photonic crystal (2) for varying wavelength sufficiently even though the crystal is small is used and the light source and photonic crystal are

accommodated in a unit. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Description

Technical Field

[0001] This invention relates to a wavelength tunable light source unit.

Background Art

[0002] A semiconductor single crystal is a material composed of a periodic and regular configuration of specific atoms. Its electron propagation property is determined by the interatomic spacing in the semiconductor crystal. Namely, a semiconductor has an energy band gap, and the energy band gap is determined depending on the wave nature of electrons and the periodic potential of atoms.

[0003] On the other hand, a photonic crystal is a material having optical potential differences, that is, a three-dimensional structure composed of substances with refractive index differences arranged in periods equivalent to light wavelengths. Such a photonic crystal was suggested by Yablonovich and others.

[0004] In a photonic crystal, the optical propagation property is limited by a binding condition concerning the wave nature of light. Namely, optical propagation in a photonic crystal is limited as well as electron propagation in a semiconductor. In a photonic crystal, an optical forbidden band, that is, a photonic band

BEST AVAILABLE COPY

gap exists, and due to this existence, light in a specific waveband cannot propagate in the crystal.

[0005] Conventionally, various photonic crystals have been suggested. For example, a photonic crystal composed of submicron particles arranged in periods equivalent to light wavelengths exists. For microwaves, a photonic crystal composed of polymer particles arranged in a space is generally known.

[0006] In addition to these, there are various photonic crystals such as a photonic crystal that has periodic minute spaces formed in a metal by chemically dissolving polymer particles after solidifying the polymer particles in the metal, a photonic crystal with pores perforating at equal intervals into a metal, a photonic crystal which includes regions that are formed in a solid material by a laser so as to be different in refractive index from other regions, and a photonic crystal of photo-induced polymers formed in a groove shape by means of lithography. A photonic crystal formed by the abovementioned processing has a photonic band gap uniquely determined by the structure.

[0007] A wavelength tunable light source unit using such a photonic crystal can select and output a predetermined wavelength range of input light. In the description given below, light to be inputted into the photonic crystal is regarded as input light, and light to be outputted from the photonic crystal after being transmitted through the photonic crystal is regarded as output light.

Disclosure of Invention

[0008] However, in the wavelength tunable light source unit, the wavelength of output light thereof cannot be tuned since the photonic band gap of the photonic crystal cannot be sufficiently changed. The invention has been developed in view of these circumstances, and an object thereof is to provide a wavelength tunable light source unit which can sufficiently tune the wavelength of output light by employing a photonic crystal that is deformable by an external force.

[0009] A wavelength tunable light source unit relating to the invention comprises a plastic photonic crystal, external force applying means for applying an external force to the photonic crystal, a light source for inputting light with a plurality of wavelengths into the photonic crystal, and an output part for outputting light in a predetermined waveband selected by the photonic crystal, which are installed in a unit.

[0010] Light inputted into the photonic crystal from the light source changes its waveband in accordance with an external force applied by the external force applying means. Namely, the waveband of output light changes in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal. In the invention, since the photonic crystal is plastic, the waveband of output light can be greatly changed, and since the elements are installed in a unit, the entire light source unit becomes compact.

[0011] In a case where the light source is a lamp, light outputted from the lamp is led into the plastic photonic crystal, a predetermined waveband is selected in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal, and then light in the selected waveband is outputted to the outside via the output part.

[0012] In a case where the light source is a laser light source, light outputted from the laser light source is led into the plastic photonic crystal, a predetermined waveband is selected in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal, and then light in the selected waveband is outputted to the outside via the output part.

[0013] Particularly, in the present invention, the abovementioned laser light source is a semiconductor laser having two opposed end faces for emitting light, light outputted from one of the end faces is inputted to a reflecting mirror through the photonic crystal, a laser resonator is constructed between the reflecting mirror and the other end face of the semiconductor laser, the other end face is optically coupled with the output part, and the waveband of light outputted from the output part changes in accordance with an external force that is applied by the external force applying means.

[0014] In this case, the photonic crystal is disposed inside the laser resonator between the reflecting mirror and the other end face, so that a resonant wavelength is selected by the photonic crystal, and light in the selected waveband is outputted to the outside via the output part.

[0015] It is also possible that the laser light source is a titanium sapphire laser including a resonator that contains a photonic crystal, and the titanium sapphire laser can generate pulsed light at intervals of femtoseconds, and the waveband thereof can be changed by the photonic crystal disposed inside the resonator.

Brief Description of Drawings

Fig. 1 is an explanatory view of a wavelength tunable light source unit.

Fig. 2 is a perspective view of a photonic crystal 2.

Fig. 3 is a graph showing wavelength (nm) dependence of the transmittance (optional constant) of output light through a dichroic mirror.

Fig. 4 is an explanatory view of a wavelength tunable light source unit relating to another embodiment.

Fig. 5 is an explanatory view of a wavelength tunable light source unit relating to still another embodiment.

Best Modes for Carrying Out the Invention

[0017] Hereinafter, a wavelength tunable light source unit of an embodiment is described. The same symbol is used for the same elements or elements having the same function, and overlapping description is omitted.

[0018] Fig. 1 is an explanatory view of a wavelength tunable light source unit. This wavelength tunable light source has a light source 5 for emitting light with a plurality of wavelengths on a base, and light outputted from the light source 5 is inputted into a photonic crystal 2. The photonic crystal 2 is placed on the base 1. The photonic crystal 2 is energized by a piezoelectric element (external force applying means) 3 which applies a pressure on the crystal and reduces the pressure applied on the crystal. The photonic crystal 2 selects a desired waveband from the waveband of input light and outputs light in the selected waveband as output light through an output window (output part) 6. These elements 2, 3, and 5 are disposed in a cover member C that forms a housing in conjunction with the base 1 and the output window 6, and are unitized.

[0019] The photonic crystal 2 is a material which accurately deforms by being applied with an external force and changes the photonic band gap in accordance with the deformation. When its photonic crystal 2 is deformed by the piezoelectric element 3, the photonic band gap changes. The strength of the external force and the period of applying the force by the piezoelectric element 3 are controlled by a driving device 4.

[0020] Input light outputted from the light source 5 is inputted into the photonic crystal 2, and specific wavelength components in the input light cannot pass through the photonic crystal 2, and a predetermined waveband is selected in accordance with the photonic band gap (optical response characteristic) and outputted from the photonic crystal 2 as output light. The output light is inputted into the output window 6 that propagates light, and outputted toward the outside of this wavelength tunable light source unit through the output window 6. Namely, the optical coupling performance between the light source 5 and the output window 6 changes due to application of an external force.

[0021] Although this wavelength tunable light source unit changes the photonic band gap of the photonic crystal 2 by applying an external force to the photonic crystal 2, the photonic crystal 2 is plastic. Furthermore, the photonic crystal 2 may have elasticity.

[0022] Since the photonic crystal 2 is plastic, when an external force is applied to this crystal to deform it, the photonic band gap greatly changes and the wavelength of output light from the photonic crystal 2 sufficiently changes. In such a wavelength tunable light source unit, even when the volume of the photonic crystal 2 is reduced, wavelength selection can be effectively carried out, so that the entire light source unit can be downsized.

[0023] As described above, the wavelength tunable light source of the present embodiment comprises the

plastic photonic crystal 2, the piezoelectric element 3 for applying an external force to the photonic crystal 2, the light source 5 for inputting light with a plurality of wavelengths into the photonic crystal 2, and the output window 6 for outputting light in a predetermined wavelength band that is selected by the photonic crystal 2, which are installed in a unit 2.

[0024] The light inputted into the photonic crystal 2 from the light source 5 changes its waveband in accordance with an external force applied by the piezoelectric element 3. Namely, the waveband of the output light changes in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal 2. Since the photonic crystal 2 is plastic, they can greatly change the waveband of the output light, and since these elements are installed in a unit, the entire light source unit becomes compact.

[0025] In a case where the light source 5 is a lamp such as a mercury lamp, light outputted from the lamp is led into the plastic photonic crystal 2, and light in a predetermined waveband is selected in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal 2 and outputted to the outside through the output window 6.

[0026] In this example, the photonic crystal 2 is a gel material, and is housed in a transparent container V.

[0027] In the case where the light source 5 is a laser light source, light outputted from the laser light source is led into the plastic photonic crystal 2, and light of a predetermined waveband is selected in accordance with the photonic band gap of the photonic crystal 2 and outputted to the outside through the output window 6.

[0028] Fig. 2 is a perspective view of the photonic crystal 2.

[0029] The photonic crystal 2 contains a plurality of microspheres (optical microcrystals) of silica or barium titanate in a gel material 2G. This photonic crystal 2 can be easily deformed. The microspheres 2B are regularly and evenly arranged in the material 2G in periods equivalent to light wavelengths. The interval of the microspheres 2G is between a quarter and a half of the light wavelength to be selected, and the microspheres 2B have permeability with respect to this wavelength. When light in a waveband $\Delta\lambda$ (including λ_1) enters the photonic crystal 2, only components in a specific waveband λ in accordance with the photonic band gap are transmitted through the photonic crystal 2.

[0030] Since the gel is easily deformed by an external force, the photonic band gap of the photonic crystal 2 easily changes. In accordance with this change, the abovementioned waveband λ_1 passing through the photonic crystal 2 changes. The microspheres 2B and the material 2G are different in reflective index from each other, and both of these have permeability with respect to the selected light wavelength.

[0031] For example, a sol material mixed with an ultraviolet curing resin is used, and is gelled by being exposed to ultraviolet radiation. A typical ultraviolet curing resin contains a cross-linking agent and a photopolymerization initiator which are mixed with acrylamide, and various ultraviolet curing resins of this type have been generally known.

[0032] The number of periodic structures of the microspheres 2B is about 50, so that the photonic crystal 2 can sufficiently function even with a 100 μm square size at the maximum. Therefore, use of this photonic crystal 2 can achieve downsizing of the unit. It is also possible that bubbles are used in place of the microspheres 2B.

[0033] Fig. 3 is a graph showing wavelength (nm) dependence of the transmittance (optional constant) of output light through a multilayer photonic crystal, that is, a dichroic mirror. The input light is white light. The characteristic shown in this graph is not of the abovementioned photonic crystal 2, however, in a case where the microspheres 2B are arranged at completely equal intervals, the optical characteristic of the photonic crystal 2 becomes identical to that shown in this figure with respect to a specific direction. In this example, the transmittance of light around a 400nm waveband is lower than the transmittances of other wavebands.

[0034] Fig. 4 is an explanatory view of a wavelength tunable light source relating to another embodiment. This wavelength tunable light source uses a semiconductor laser having two opposed end faces 5A and 5B for emitting light as the abovementioned laser light source 5. Light outputted from one end face 5A is inputted to a reflecting mirror 7 through a photonic crystal 2, and a laser resonator is constructed between the reflecting mirror 7 and the other end face 5B. The photonic band gap in such a photonic crystal 2 is set

upon consideration of a basic wave and a harmonic wave of the laser light source so that resonance is performed at these wavelengths.

[0035] The core of an optical fiber is inserted into an opening made in the cover member C, and the front end of the core 6 is placed on a V-grooved base 1V fixed on the base 1, and the semiconductor laser 5 is fixed on a heat sink 1H that is fixed on the base 1.

[0036] The other end face 5B of the semiconductor laser 5 is optically coupled with the core 6 that serves as an output part 6, and the waveband of light outputted from the core 6 changes in accordance with an external force applied by the piezoelectric element 3.

[0037] The core is surrounded by a clad 6', and these form an optical fiber.

[0038] In the present embodiment, the photonic crystal 2 is disposed in a laser resonator constructed between the reflecting mirror 7 and the other end face 5B, so that a resonant wavelength is selected by the photonic crystal 2, and light in the selected waveband is outputted to the outside through the output part 6.

[0039] Furthermore, a commercially available wavelength tunable light source which rotates a diffraction grating and makes it to serve as a wavelength selector to select and output a specific wavelength has been generally known. Although such a commercially available light source is large-scale, the wavelength tunable light source unit of the abovementioned embodiment can be made compact in comparison with the commercially available light source since the plastic photonic crystal 2, that is, a gelled photonic crystal is used.

[0040] For example, it is also possible that the photonic crystal 2 is produced by using the semiconductor micro-machining technology (micro electro-mechanical systems: MEMS technology). The abovementioned container V is formed by processing a semiconductor substrate (not shown), and a piezoelectric element 3 is formed on this semiconductor substrate. In this case, the photonic crystal 2 is disposed inside the container formed of the semiconductor substrate, more specifically, inside a concave portion, and the piezoelectric element 3 is formed on this semiconductor substrate, so that these elements can be formed by using the semiconductor micro-machining technology, and the entire unit can be downsized. As a matter of course, it is also possible that a drive circuit, a power source, and a photodiode with a wavelength filter, etc., can be formed inside the semiconductor substrate.

[0041] Fig. 5 is an explanatory view of a wavelength tunable light source relating to still another embodiment. This wavelength tunable light source is different from the light source shown in Fig. 4 in that an excitation light source 5E and a laser medium 5M are used for the laser light source 5, and a laser resonator including the laser medium 5M is constructed between an output mirror 6 that is provided in place of the optical fiber core 6 and a reflecting mirror 7.

[0042] Excitation light emitted from the excitation light source 5E is inputted into the laser medium 5M, and the laser medium 5M is excited to output a laser beam from its end face. The emitted laser beam is amplified and resonated while reciprocating between the two reflecting mirrors 6 and 7 that are disposed opposite to each other in the unit, and the amplified laser beam is outputted to the outside through the reflecting mirror (output mirror) 6 having the lower reflectance.

[0043] A laser beam wavelength which can reciprocate in this laser resonator is limited by the photonic crystal 2, and is changed by an external force applied by the piezoelectric element 3. In this example, the waveband of the output light also changes in accordance with the amount of driving of the piezoelectric element 3.

[0044] In this example, the laser medium 5M is Ti sapphire. The laser light source 5 using this is a titanium sapphire laser including a resonator that contains the photonic crystal 2. The titanium sapphire laser changes the time interval as well as the wavelength. The titanium sapphire laser can generate pulsed light at femtosecond time intervals, and the waveband thereof can be changed by the photonic crystal 2 disposed inside the resonator. Furthermore, it is also possible that a Cr:LiSrAlF₆ crystal or a Cr:LiCaAlF₆ crystal is used as the laser medium 5M.

[0045] A Fabry-Perot interferometer and a multilayer mirror (dichroic mirror) also use zero-dimensional or one-dimensional photonic crystals. The photonic crystal 2 can also be used for these purposes.

Furthermore, it is expected that, regarding the soft photonic crystal 2 mentioned above, research will be further advanced in future on the size or arranging stability of the microspheres 2B or bubbles, mechanical accuracy to improve controllability, long-term stability of the gel, temperature stability, method of connection to the optical fiber or other optical parts, the gel sealing container, and the external force applying mechanism which can apply an equal external force each time.

Industrial Applicability

[0046] The present invention can be used for a wavelength tunable light source unit.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Claims

1. A wavelength tunable light source unit comprising:

a plastic photonic crystal;
external force applying means for applying an external force to said photonic crystal;
a light source for inputting light with a plurality of wavelengths into said photonic crystal; and
an output part for outputting light in a predetermined waveband that is selected by the photonic crystal, which are installed in a unit.

2. The wavelength tunable light source unit according to Claim 1, wherein said light source is a lamp.

3. The wavelength tunable light source unit according to Claim 1, wherein said light source is a laser light source.

4. The wavelength tunable light source unit according to Claim 3, wherein the laser light source is a semiconductor laser having two opposed end faces for emitting light, light outputted from one of the end faces is inputted to a reflecting mirror through said photonic crystal, a laser resonator is constructed between said reflecting mirror and the other one of the end faces, and the other end face is optically coupled with said output part, and the waveband of light to be outputted from said output part changes in accordance with an external force applied by said external force applying means.

5. The wavelength tunable light source unit according to Claim 1, wherein said laser light source is a titanium sapphire laser including a resonator, said photonic crystal being arranged in said resonator.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-98917

(P2002-98917A)

(43) 公開日 平成14年4月5日(2002.4.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 2 B 26/00		G 0 2 B 26/00	2 H 0 4 1
6/12		H 0 1 S 3/106	2 H 0 4 7
H 0 1 S 3/106		5/14	5 F 0 7 2
5/14		G 0 2 B 6/12	Z 5 F 0 7 3
			N

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-292709(P2000-292709)

(22) 出願日 平成12年9月26日(2000.9.26)

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 瀧口 義浩

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

(72) 発明者 伊藤 研策

富山県婦負郡婦中町希望ヶ丘745

(72) 発明者 山中 淳平

愛知県名古屋市中区瑞穂区高田町5-15-1

エスタシオン瑞穂通301号

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

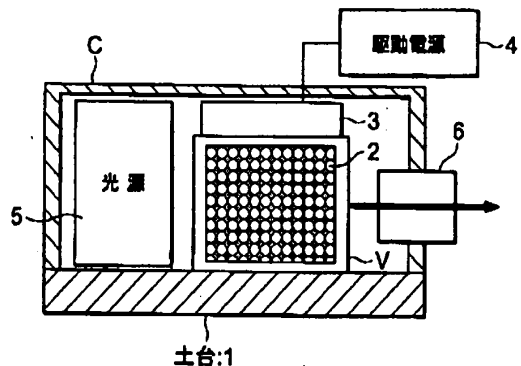
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長可変光源

(57) 【要約】

【課題】 外力によって変形することにより、出力光の波長を十分に变化可能な波長可変光源を提供する。

【解決手段】 圧電素子3によって可塑性のホトニック結晶に外力を印加すると、ホトニック結晶2が変形し、これによりホトニックバンドギャップが容易に変化する。ホトニックバンドギャップが変化すると、特定波長の光の通過が制限される。したがって、ホトニック結晶2からは所望の波長の光が十分に可変されて出力され、これは出力窓6を介して外部に取り出される。本発明においては、小型であっても十分に波長可変を達成できる可塑性のホトニック結晶2を用いると共に、これらをユニット化しているため、波長可変光源全体が小型となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 可塑性のホトニック結晶と、前記ホトニック結晶に外力を印加する外力印加手段と、前記ホトニック結晶に複数波長を有する光を入力する光源と、前記ホトニック結晶によって選択された所定の波長帯域の光を出力する出力部とをユニット内に組み込んでなる波長可変光源。

【請求項2】 前記光源は、ランプであることを特徴とする請求項1に記載の波長可変光源。

【請求項3】 前記光源は、レーザ光源であることを特徴とする請求項1に記載の波長可変光源。

【請求項4】 前記レーザ光源は、光が射出される2つの対向端面を有する半導体レーザであり、前記端面の一方から出力された光は前記ホトニック結晶を介して反射鏡に入力され、前記反射鏡と前記端面の他方との間にレーザ共振器が構成され、前記端面の前記他方は前記出力部に光学的に結合し、前記外力印加手段による外力に応じて前記出力部から射出される光の波長帯域が変化することを特徴とする請求項3に記載の波長可変光源。

【請求項5】 前記レーザ光源は、その共振器内に前記ホトニック結晶が配置されてなるチタンサファイアレーザであることを特徴とする請求項1に記載の波長可変光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長可変光源に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体単結晶は、特定の原子が周期的且つ規則的に配列してなる物質である。その電子伝搬特性は、半導体結晶中の原子間隔によって決定される。すなわち、半導体はエネルギーバンドギャップを有しており、このエネルギーバンドギャップは、電子の波動性及び原子の周期ポテンシャルに起因して決定される。

【0003】一方、ホトニック結晶は、光に対してポテンシャル差を有する物質、すなわち屈折率差を有する物質を光の波長程度の周期で配列してなる3次元構造体である。このようなホトニック結晶なる物質は、ヤブラノビッチ (Yablono v i c h) 氏等によって提案されてきた。

【0004】ホトニック結晶内においては、光の波動性の拘束条件によって光伝搬特性が制限されている。すなわち、ホトニック結晶中における光の伝搬は、半導体中の電子の伝搬と同様に制限を受ける。ホトニック結晶中においては、光に対する禁止帯、所謂ホトニックバンドギャップが存在し、このバンドギャップの存在によって、特定の波長帯域の光は結晶内を伝搬できなくなる。

【0005】従来、様々なホトニック結晶が提案されている。例えば、サブミクロンサイズの粒子を光の波長程度の周期で配列してなるものがある。マイクロ波帯であ

れば、粒子としてのポリマー球を空間中に配列するものが知られている。

【0006】この他、ポリマー球を金属内で固化させた後で化学的にポリマー球を溶解することにより周期的微小空間を金属中に形成するもの、金属中に等間隔で穴を穿設するもの、固体材料中にレーザを用いて屈折率が周囲と異なる領域を形成するもの、光重合性ポリマーをリソグラフィ技術を用いて溝状に加工したもの等がある。これらの加工によって形成されたホトニック結晶は、その構造によって一意的に決定されるホトニックバンドギャップを有することとなる。

【0007】このようなホトニック結晶を用いた波長可変光源は、入力光の所定波長領域を選択して出力することができる。なお、説明において、ホトニック結晶に入力される光を入力光、ホトニック結晶内を通過することによってホトニック結晶から出力される光を出力光とする。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、波長可変光源においては、ホトニック結晶のホトニックバンドギャップを十分に変化させることができないため、その出力光の波長を可変することができない。本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、外力によって変形するホトニック結晶を用いることにより、出力光の波長を十分に変化可能な波長可変光源を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る波長可変光源は、可塑性のホトニック結晶と、ホトニック結晶に外力を印加する外力印加手段と、ホトニック結晶に複数波長を有する光を入力する光源と、ホトニック結晶によって選択された所定の波長帯域の光を出力する出力部とをユニット内に組み込んでなる。

【0010】光源からホトニック結晶内に入力された光は、外力印加手段による外力に応じて、その波長帯域が変化する。すなわち、ホトニック結晶のホトニックバンドギャップに応じて出力光の波長帯域は変化する。本発明においては、ホトニック結晶が可塑性であるため、出力光の波長帯域を大きく変化させることができ、これらがユニット内に組み込まれているので光源全体がコンパクトとなる。

【0011】上記光源がランプである場合には、ランプから出力された光は可塑性のホトニック結晶内に導入され、所定の波長帯域がホトニック結晶のホトニックバンドギャップに対応して選択され、出力部を介して外部に出力される。

【0012】上記光源が、レーザ光源である場合には、レーザ光源から出力された光は可塑性のホトニック結晶内に導入され、所定の波長帯域がホトニック結晶のホトニックバンドギャップに対応して選択され、出力部を介

して外部に出力される。

【0013】特に、本発明においては、上記レーザ光源が、光が出射される2つの対向端面を有する半導体レーザであり、上記端面の一方から出力された光はホトニック結晶を介して反射鏡に入力され、反射鏡と上記端面の他方との間にレーザ共振器が構成され、上記端面の他方は出力部に光学的に結合し、外力印加手段による外力に応じて出力部から出射される光の波長帯域が変化することを特徴とする。

【0014】この場合、反射鏡と上記端面の他方との間に構成されるレーザ共振器内にホトニック結晶が配置されることになるので、共振する波長がホトニック結晶によって選択され、選択された波長帯域が出力部を介して外部に出力される。

【0015】また、上記レーザ光源は、その共振器内にホトニック結晶が配置されてなるチタンサファイアレーザであることとしてもよく、チタンサファイアレーザはフェムト秒の時間幅のパルス光を発生することができ、この波長帯域は共振器内に配置されたホトニック結晶によって変化させることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、実施の形態に係る波長可変光源について説明する。同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

【0017】図1は波長可変光源の説明図である。この波長可変光源は、土台1上に複数波長の光を出射する光源5を備えており、光源5から出力された光はホトニック結晶2に入力される。ホトニック結晶2は土台1の上に置かれている。ホトニック結晶2は、これに圧力を加え、また、これに印加される圧力を減少させる圧電素子（外力印加手段）3によって付勢される。ホトニック結晶2は、この入力光の波長帯域から所望の波長帯域を選択し、出力窓（出力部）6を介して出力光として出力する。これらの素子2、3、5は、土台1及び出力窓6と共にハウジングを構成するカバー部材C内に配置されており、ユニット化されている。

【0018】ホトニック結晶2は、外力の印加によって精度良く変形し、変形に応じてホトニックバンドギャップが変化する物質である。圧電素子3によってホトニック結晶2を変形させると、そのホトニックバンドギャップが変化する。圧電素子3による外力の大きさ及びその印加時間は、駆動装置4によって制御される。

【0019】光源5から出力された入力光はホトニック結晶2に入力され、入力光中の特定波長成分はホトニック結晶2を通過することができず、所定の波長帯域がホトニックバンドギャップ（光学的応答特性）に応じて選択され、出力光としてホトニック結晶2から出力される。出力光は、光を伝搬させる出力窓6に入力され、出力窓6を介して本波長可変光源外部へと出力される。す

なわち、外力の印加によって、光源5及び出力窓6間の光学的結合特性が変化する。

【0020】本波長可変光源は、ホトニック結晶2に外力を印加することによりホトニック結晶2のホトニックバンドギャップを変化させる波長可変光源であるが、ホトニック結晶2は可塑性である。なお、ホトニック結晶2は、弾性を有していても良い。

【0021】ホトニック結晶2は可塑性であるため、これに外力を与えてホトニック結晶2を変形させると、ホトニックバンドギャップが大きく変化し、ホトニック結晶2からの出力光の波長が十分に変化することとなる。このような波長可変光源においては、ホトニック結晶2自体の容積を小さくした場合においても、有効に波長選択を行うことができるので、装置全体を小型化することも可能である。

【0022】以上、説明したように、本実施形態の波長可変光源は、可塑性のホトニック結晶2と、ホトニック結晶2に外力を印加する圧電素子3と、ホトニック結晶2に複数波長を有する光を入力する光源5と、ホトニック結晶2によって選択された所定の波長帯域を出力する出力窓6とをユニット内に組み込んでなる。

【0023】光源5からホトニック結晶2内に入力された光は、圧電素子3による外力に応じて、その波長帯域が変化する。すなわち、ホトニック結晶2のホトニックバンドギャップに応じて出力光の波長帯域は変化する。ホトニック結晶2は可塑性であるため、出力光の波長帯域を大きく変化させることができ、これらがユニット内に組み込まれているので光源全体がコンパクトとなる。

【0024】上記光源5が水銀ランプ等のランプである場合には、ランプから出力された光は可塑性のホトニック結晶2内に導入され、所定の波長帯域の光がホトニック結晶2のホトニックバンドギャップに対応して選択され、出力窓6を介して外部に出力される。

【0025】なお、本例においては、上記ホトニック結晶2はゲル状の物質であり、透明容器V内に収容されている。

【0026】上記光源5が、レーザ光源である場合には、レーザ光源から出力された光は可塑性のホトニック結晶2内に導入され、所定の波長帯域がホトニック結晶2のホトニックバンドギャップに対応して選択され、出力窓6を介して外部に出力される。

【0027】図2はホトニック結晶2の斜視図である。

【0028】このホトニック結晶2は、ゲル状の物質2G内にシリカ又はチタン酸バリウムの微小球（光学的な微結晶）2Bを複数含有してなる。このホトニック結晶2は容易に変形させることができる。微小球2Bは、物質2G内に光の波長程度の周期で規則的に均一に配列されている。微小球2Bの間隔は、選択しようとする光の波長の半分から四分の一であり、この波長に対して微小球2Bは透明である。ホトニック結晶2に波長帯域 $\Delta\lambda$

(λ_1 を含む)の光を入射すると、ホトニックバンドギャップに応じて、特定の波長帯域 λ_1 の成分のみがホトニック結晶2を透過する。

【0029】ゲルは外力によって容易に変形するため、ホトニック結晶2のホトニックバンドギャップが容易に変化する。この変化によって、ホトニック結晶2を通過する上記波長帯域 λ_1 が変化する。なお、微小球2Bと物質2Gとは屈折率が異なり、また、双方とも選択する光の波長に対して透明である。

【0030】例えば、ゾルの材料として、紫外線硬化樹脂を混ぜたものを用い、ゲル化は、これに紫外線を照射することにより行うことができる。代表的な紫外線硬化樹脂は、アクリルアミドに架橋剤及び光重合開始剤を混ぜたものであり、従来から多くのものが知られている。

【0031】この微小球2Bの周期構造数は50程度でよいので、ホトニック結晶2は最大でも100 μ m角の素子で十分に機能する。したがって、このホトニック結晶2を用いれば、装置の小型化を達成することができる。なお、微小球2Bの代わりに気泡を用いることもできる。

【0032】図3は、多層膜構造のホトニック結晶、すなわちダイクロイックミラーによる出力光の透過率(任意定数)の波長(nm)依存性を示すグラフである。入力光は白色光である。このグラフは、上述のホトニック結晶2のものではないが、微小球2Bが完全に等間隔に配列された場合には、特定の方向に関しては、その光学特性は同図に示したものと同様となる。本例においては、波長帯域400nm近傍の光の透過率が、この周囲の波長帯域よりも低下している。

【0033】図4は、別の実施形態に係る波長可変光源の説明図である。この波長可変光源は、上述のレーザ光源5として、光が射出される2つの対向端面5A、5Bを有する半導体レーザを用いたものである。これらの端面の一方5Aから出力された光はホトニック結晶2を介して反射鏡7に入力され、反射鏡7と上記端面の他方5Bとの間にレーザ共振器が構成される。このようなホトニック結晶2におけるホトニックバンドギャップは、レーザ光源の基本波及び高調波を考慮し、共振がこれらの波長で行われるように設定される。

【0034】光ファイバのコア6が、カバー部材Cに設けられた開口内に挿入されており、コア6の先端部は、土台1上に固定されたV溝台1V上に配置され、半導体レーザ5は土台1上に固定されたヒートシンク1H上に固定されている。

【0035】半導体レーザ5の上記端面の他方5Bは、出力部6としてのコア6に光学的に結合し、圧電素子3による外力に応じてコア6から射出される光の波長帯域が変化する。

【0036】コア6の周囲は、クラッド6'によって囲まれており、これらは光ファイバを構成している。

【0037】本実施形態においては、反射鏡7と上記端面の他方5Bとの間に構成されるレーザ共振器内にホトニック結晶2が配置されることになるので、共振する波長がホトニック結晶2によって選択され、選択された波長帯域が出力部6を介して外部に出力される。

【0038】なお、市販の波長可変光源として、回折格子を回転させることにより、これを波長選択素子として機能させ、特定波長を選択して出力するものが知られている。このような市販品は、装置が大掛かりであるのに対し、上述の実施形態の波長可変光源においては、可塑性のホトニック結晶2を用いているため、すなわち、ゲル化したホトニック結晶を用いるため、装置全体を市販品と比較して小型化することができる。

【0039】例えば、ホトニック結晶2は、半導体微細加工技術(マイクロエレクトロメカニクス:MEMS技術)を用いて製造することもできる。上述の容器Vを半導体基板(図示せず)を加工することによって形成し、圧電素子3を当該半導体基板上に形成する。この場合、半導体基板に形成された容器、特に凹部内にホトニック結晶2が配置され、この半導体基板上に圧電素子3が形成されるので、半導体微細加工技術を用いてこれらを形成することができ、装置全体を小型化することができる。もちろん、半導体基板内に圧電素子3の駆動回路、電源、波長フィルタ付きホトダイオード等を形成することもできる。

【0040】図5は、更に別の実施形態に係る波長可変光源の説明図である。この波長可変光源と図4に示したものと相違点は、レーザ光源5として、励起光源5E及びレーザ媒質5Mを用い、レーザ媒質5Mを含むレーザ共振器を、光ファイバコア6の代わりに配置された出力鏡6と反射鏡7との間に構成した点である。

【0041】励起光源5Eから射出された励起光は、レーザ媒質5M内に入力され、レーザ媒質5Mは励起されてレーザ光を、その端面から射出する。射出されたレーザ光は、ユニット内に対向配置された2枚の反射鏡6、7間を往復しつつ増幅されて発振し、増幅されたレーザ光は、反射率が低い方の反射鏡(出力鏡)6を介して外部へと出力される。

【0042】このレーザ共振器内を往復可能なレーザ光波長は、ホトニック結晶2によって制限され、圧電素子3による外力によって変化する。本例においても、圧電素子3の駆動量に応じて出力光の波長帯域が変化する。

【0043】本例においては、レーザ媒質5MをTi:サファイアとするものである。これを用いたレーザ光源5は、その共振器内にホトニック結晶2が配置されてなるチタンサファイアレーザである。チタンサファイアレーザにおいては、波長と同時に時間幅も変化する。チタンサファイアレーザはフェムト秒の時間幅のパルス光を発生することができ、この波長帯域は共振器内に配置されたホトニック結晶2によって変化させることができ

る。なお、レーザ媒質5Mとして、 $\text{Cr}^{3+}:\text{LiSrAlF}_6$ 結晶や $\text{Cr}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ 結晶を用いることもできる。

【0044】なお、ファブリペロー干渉計や多層膜鏡（ダイクロイックミラー）も、0次元或いは1次元のホトニック結晶である。ホトニック結晶2は、このような用途にも応用できる。また、上述のような柔らかなホトニック結晶2は、今後、その微小球2Bや気泡の大きさや配列の安定性、その制御性を向上させるための機械的精度、ゲルの長期安定性、温度安定性、光ファイバや他の光学部品との接続方法、ゲル封入容器、毎回同様の外力を印加できる外力印加機構等について研究が進められるものと期待される。

【0045】

【発明の効果】本発明の波長可変光源によれば、外力によって変形することにより、出力光の波長を十分に変化させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長可変光源の説明図である。

【図2】ホトニック結晶2の斜視図である。

【図3】ダイクロイックミラーによる出力光の透過率（任意定数）の波長（nm）依存性を示すグラフである。

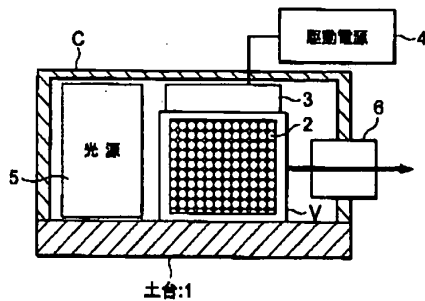
【図4】別の実施形態に係る波長可変光源の説明図である。

【図5】更に別の実施形態に係る波長可変光源の説明図である。

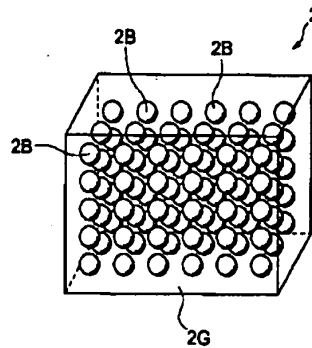
【符号の説明】

1H…ヒートシンク、1V…V溝台、1…土台、2…ホトニック結晶、2B…微小球、2G…物質、3…圧電素子、4…駆動装置、5…光源（レーザ光源）、5A、5B…対向端面、5E…励起光源、5M…レーザ媒質、6…出力部（出力窓、出力鏡、光ファイバコア）、6'…クラッド、7…反射鏡、C…カバー部材、V…容器。

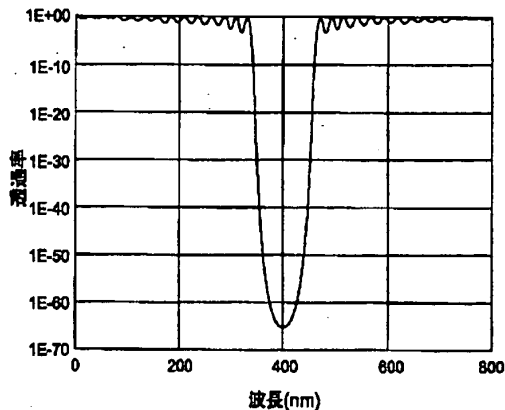
【図1】



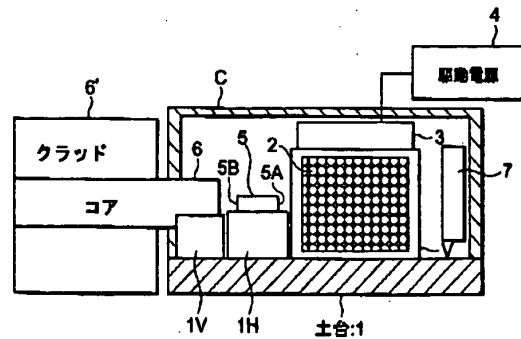
【図2】



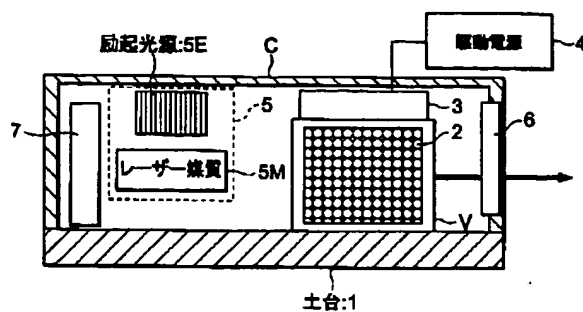
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

識別記号

F I
G 0 2 B 6/12

ターミナル (参考)
H

F ターム (参考) 2H041 AA21 AB10 AC08 AZ05 AZ08
2H047 MA07 NA01 QA00 RA00
5F072 AB13 AB20 JJ01 KK06 KK30
QQ01 QQ02
5F073 AA67 AB23 AB28 AB29